

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 05266000 A

(43) Date of publication of application: 15.10.93

(51) Int. Cl

G06F 15/20
G05B 19/403
G06F 15/60

(21) Application number: 04094877

(22) Date of filing: 23.03.92

(71) Applicant: MINOLTA CAMERA CO LTD

(72) Inventor: IKEDA KATSUHIKO
INOUE MASAKO
BAN SHINICHI
ENOMOTO YASUMI

**(54) MECHANISM OPERATION SIMULATING SYSTEM
CONSIDERING GEOMETRIC SHAPE**

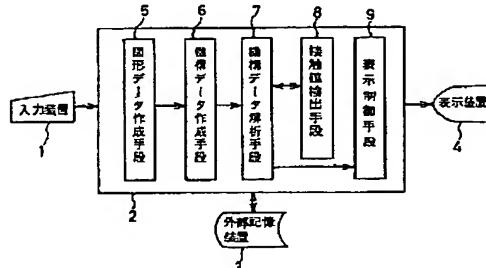
(57) Abstract:

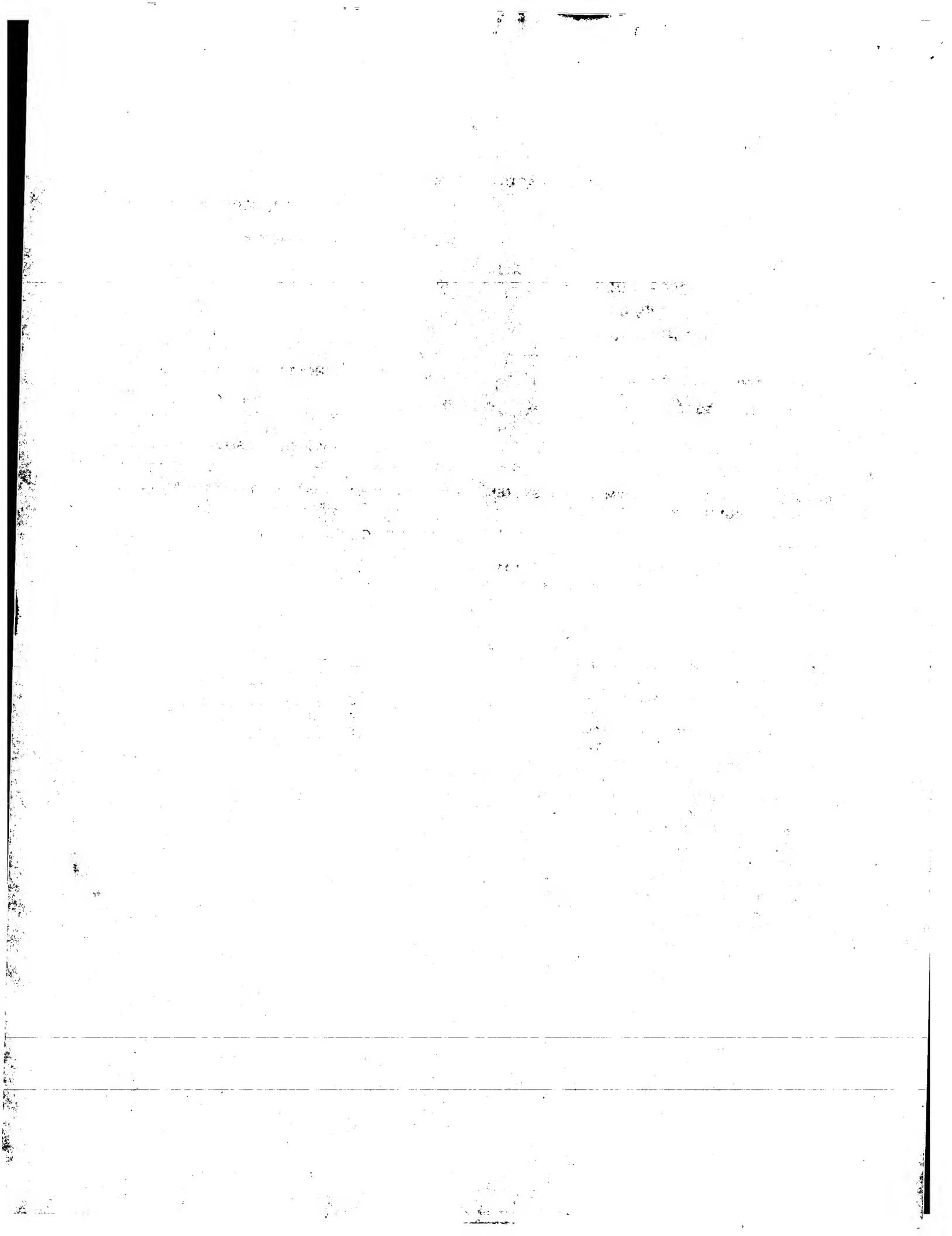
of the mechanism element having the three-dimensional free curved surface is simulated.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

PURPOSE: To simulate the mutual contact motion of mechanism elements having three-dimensional free curved surfaces.

CONSTITUTION: An input device 1, a processor 2, an external storage device 3, and a display device 4 are provided, and a graphic data generating means 5, a mechanism data generating means 6, a mechanism data analyzing means 7, a contact value detecting means 8, and a display control means 9 are formed in the processor 2 by a program. The shape and the coupling state, etc., of the mechanism element are inputted to the graphic data generating means 5 and the mechanism data generating means 6. The mechanism element having the three-dimensional free curved surface is approximated to a polyhedron by the mechanism data analyzing means 7 and the contact value detecting means 8, and the position and the posture of each mechanism element at the time when the mechanism elements are brought into contact, are linked, and are coupled with each other are calculated and analyzed from displacement for two mechanism elements to come into contact with each other, and the mutual contact motion





(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-266000

(43) 公開日 平成5年(1993)10月15日

(61) Int. C1. 5 識別記号 庁内整理番号 F I
 G 06 F 15/20 D 7218-5 L
 G 05 B 19/403 E 9064-3 H
 G 06 F 15/60 400 A 7922-5 L

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 1

(全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平4-94877
 (22) 出願日 平成4年(1992)3月23日

(71) 出願人 000006079
 ミノルタカメラ株式会社
 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号
 大阪国際ビル
 (72) 発明者 池田 勝彦
 大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
 国際ビルミノルタカメラ株式会社内
 (72) 発明者 井上 昌子
 大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
 国際ビルミノルタカメラ株式会社内
 (74) 代理人 弁理士 貞重 和生

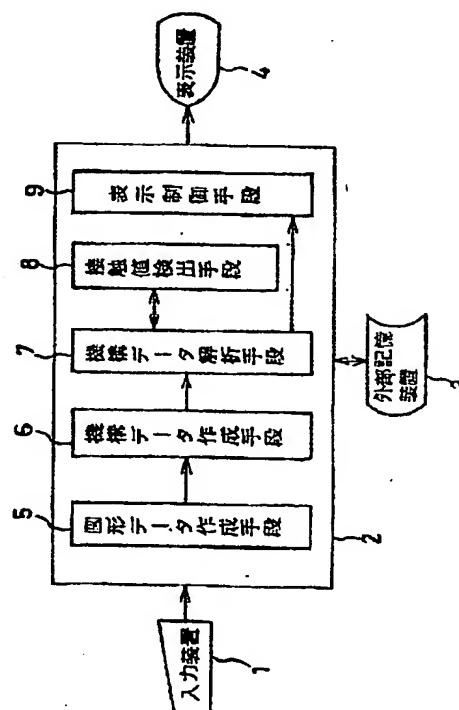
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】幾何形状を考慮した機構動作シミュレーションシステム

(57) 【要約】

【目的】3次元自由曲面をもつ機構部品相互の接触運動をシミュレーションする。

【構成】入力装置1、プロセッサ2、外部記憶装置3、表示装置4を備え、プロセッサ2内には図形データ作成手段5、機構データ作成手段6、機構データ解析手段7、接触値検出手段8、表示制御手段9がプログラムにより形成される。機構部品の形状、結合状態等を図形データ作成手段5、機構データ作成手段6に入力する。機構データ解析手段7、接触値検出手段8により、3次元自由曲面をもつ機構部品を多面体近似し、2つの機構部品相互が接触する変位量から機構部品相互が接触運動結合するときの各機構部品の位置、姿勢を演算解析し、3次元自由曲面をもつ機構部品相互の接触運動をシミュレーションする。



(2)

特開平5-266000

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 鍵盤と表示装置と外部記憶装置とを備え、外部記憶装置内の情報に基づいてプロセッサ内に複数の機能手段を設定できる情報処理装置において、前記機能手段は、

入力された機構図形の位置、姿勢に関する図形データを作成する図形データ作成手段と、

前記図形データに基づいて、機構を構成する機構部品に分解し、各機構部品についての位置及び姿勢を表す機構部品データ、2つの機構部品の結合による機構部品の自由度を表す結合データ、及び機構部品を駆動する時期及び変位を表す駆動データを編集する機構データ作成手段と、

機構部品表面の自由曲面を多面体で近似して多面体相互が接触するような変位量を求め、その変位量及びそれを微小量増減させた変位量だけ部品を移動させて干渉を検査することにより自由曲面相互が接触するときの変位量の存在範囲を限定し、その範囲内で干渉検査を用いて逐次収斂させることにより自由曲面を持つ機構部品相互が接触運動するときの変位量を演算する接触値演算手段と、

前記機構データ、及び接触値演算手段により演算された接触運動結合するときの変位量に基づいて各機構部品の位置、姿勢を算出する機構データ解析手段と、

各機構部品の位置、姿勢を可視的に表示装置に表示せしめる表示制御手段とを含み、

接触運動結合するときの3次元の自由曲面をもつ機構の運動解析を行い、機構運動を可視的に表示することを特徴とする幾何形状を考慮した機構動作シミュレーションシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、コンピュータにより機械装置に使用される機構の動作をシミュレーションするシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】 コンピュータにより機械装置に使用される機構の動作をシミュレーションすることは、機構設計において、機構部品相互の干渉その他の不具合を発見し、所定の動作を確認する上で重要なステップである。従来から行われているコンピュータによる機構動作のシミュレーションにおいては、CAD（コンピュータ支援設計システム）等で作成された図形データに対して機構データを付加し、それを解析するという方法が採られている。ここで、図形データとは機構部品の形状を表し、機構データとは機構部品間の結合関係及び駆動の情報を表すものであるが、従来の機構動作シミュレーションシステムは、機構部品の表面形状まで考慮してシミュレーションするものはない。

【0003】

2

【発明が解決しようとする課題】 上記したように、従来の機構動作シミュレーションシステムでは、機構部品の表面形状までは考慮されていないから、機構部品相互の表面の接触状態、例えばカムとカム従動子であれば、カムとカム従動子の表面の接触状態を考慮した機構の動作をシミュレーションすることはできず、複雑な形状のカムなどを使用する機構では、その動作を十分に解析できないという問題点があつた。

【0004】 さらに、最近の機構は複雑な動作を実現するため、機構部品として2次元形状ばかりでなく、3次元の自由曲面を持つものが使用されるようになってきたが、このような3次元の自由曲面を持つ機構部品相互の表面の接触状態を考慮した機構の動作をシミュレーションすることは、従来の機構動作シミュレーションシステムでは、ますます困難となる。

【0005】

【課題を解決するための手段】 この発明は上記課題を解決するもので、3次元の自由曲面をもつ機構部品相互の表面が接触した状態を、部品結合の1種とみて機構動作のシミュレーションを行うシミュレーション装置を提供するものである。

【0006】 即ち、一般に2つの機構部品は、相互に接触している状態と、離れている状態との2つの状態があり、相互に接触している状態のときのみ、一方の機構部品の運動が他方に伝達される。2つの機構部品の表面が相互に接触して運動が伝達される機構結合を、ここでは「接触運動結合」と呼び、また、接触して運動が伝達される状態を「接触運動結合状態」と呼ぶことにする。接触運動結合が指定された2つの機構部品について、被駆動側の部品の運動のうち、ある軸に沿った並進運動と、ある軸の回りの回転運動との2つを考える。

【0007】 接触運動結合状態にある3次元の自由曲面をもつ2つの機構部品の運動の解析は、まず、駆動側の機構部品に所定量の変位を与えたとき、2つの機構部品が接触する場合に、駆動側の機構部品に接するような被駆動側の機構部品の変位量を求める。これは、2つの機構部品の3次元の自由曲面の表面を、3角形の集合による多面体で近似し、多面体相互の接触により、自由曲面相互の接触による実際の変位量を含む範囲を求める。

【0008】 即ち、まず、駆動側の機構部品の表面を表す多面体の1つの3角形に対して、被駆動側の機構部品の表面を表す多面体の1つの3角形が接するような被駆動側の機構部品の変位量を求める。3角形相互の接触は、一方の3角形領域の内部に他方の3角形の頂点が存在する場合、あるいは一方の3角形の稜線と他方の3角形の稜線とが交差する場合に起り得る。

【0009】 従つて、駆動側、被駆動側それぞれの機構部品の表面を表す多面体を構成する各3角形に対して、この条件を満たすような変位量を求めると、得られた変位量は、実際の変位量の近似値の「候補」になる。言い

(3)

特開平5-266000

3

換えれば、実際の変位量は得られたいずれかの変位量の近傍に存在する。何故ならば、注目している3角形以外の3角形で干渉することや、多面体近似による誤差を考慮していないからである。

【0010】駆動側の機構部品を得られた変位量分だけ移動したとき、実際の機構部品（多面体で近似しない元のもの）がどのような状態にあるかを調べるために、システムの備えている干渉検査機能を利用する。即ち、先に解析して得られた変位量に基づき、被駆動側の機構部品の図形データを変位量分だけ移動させた図形データを求め、この図形データと駆動側の機構部品の図形データとから、2つの機構部品が干渉しているか、離れているかを検査する。次に、先に解析して得られた変位量を微小量変化させて先と同様に干渉を検査する。この結果、もしも、変位量を微小量変化させたとき、干渉しているものが干渉しなくなったり、あるいは、離れているものが干渉するようになるなど、前回の干渉検査の結果と異なった場合は、実際の機構部品（多面体で近似しない元のもの）は元の変位量と微小量変化させた変位量との間に存在することになる。

【0011】従つて、得られた変位量のうち、値の小さい順にこのような処理を行い、実際の変位量が存在する範囲を得、さらに、この得られた変位量の範囲の中で、解の精度を上げるために干渉検査の機能を利用し、逐次収斂させて実際の変位量とみなせる値を求める。

【0012】このように、この発明では、接触連動結合する2つの機構部品を多面体で近似し、その場合の変位量が存在する範囲を限定し、更に2つの機構部品の干渉の状態を検査しつつ、変位量が存在する範囲を収斂させ、接触連動結合する2つの機構部品の被駆動側の実際の変位量を求めて機構動作のシミュレーションを行うようにしたものである。

【0013】その構成は、鍵盤と表示装置と外部記憶装置とを備え、外部記憶装置内の情報に基づいてプロセッサ内に複数の機能手段を設定できる情報処理装置において、前記機能手段は、入力された機構图形の位置、姿勢に関する図形データを作成する図形データ作成手段と、前記図形データに基づいて、機構を構成する機構部品に分解し、各機構部品についての位置及び姿勢を表す機構部品データ、2つの機構部品の結合による機構部品の自由度を表す結合データ、及び機構部品を駆動する時期及び変位を表す駆動データを編集する機構データ作成手段と、機構部品表面の自由曲面を多面体で近似して多面体相互が接触するような変位量を求め、その変位量及びそれを微小量増減させた変位量だけ部品を移動させて干渉を検査することにより自由曲面相互が接触するときの変位量の存在範囲を限定し、その範囲内で干渉検査を用いて逐次収斂させることにより自由曲面を持つ機構部品相互が接触連動するときの変位量を演算する接触値演算手段と、前記機構データ、及び接触値演算手段により演算

4

された接触連動結合するときの変位量に基づいて各機構部品の位置、姿勢を算出する機構データ解析手段と、各機構部品の位置、姿勢を可視的に表示装置に表示せしめる表示制御手段とを含み、接触連動結合するときの3次元の自由曲面をもつ機構の運動解析を行い、機構運動を可視的に表示することを特徴とするものである。

【0014】

【作用】接触値演算手段は、機構部品表面の自由曲面を多面体で近似して2つの機構部品相互の接触する変位量を求め、これに基づいて3次元の自由曲面を持つ機構部品相互が接触連動結合するときの変位量を求めるから、3次元の自由曲面を持つ機構部品相互が接触連動結合するときの各機構部品の位置、姿勢を漏れなく、且つ正確に求めることができる。

【0015】

【実施例】以下、この発明の実施例について説明する。

【0016】この実施例は、CADで作成された図形データを機構部品に分解し、各機構部品に回転結合、並進結合、接触連動結合などの結合を示す機構データを付加し、機構部品に変位を与えたときの各機構部品の位置及び姿勢を、その機構データを解析することにより算出して求め、各機構部品图形を表示装置上に表示するようにした装置である。

【0017】まず、機構部品相互の回転結合、並進結合のみで、機構部品相互の表面が接触連動結合していない場合について、駆動側の機構部品に所定量の変位を与えたときの被駆動側の機構部品の変位量の演算について説明する。

【0018】図1は、3つの回転結合と1つの並進結合を持つ4つの機構部品からなるリンク機構である。図において、機構部品10と11は軸14方向の並進運動が可能に結合されている。また、機構部品11と12、機構部品12と13、及び機構部品13と10とは、それぞれ、軸15の回りの回転運動、軸16の回りの回転運動、軸17の回りの回転運動が可能に結合されている。なお、機構部品10は接地されており、動かないものとする。

【0019】1つの剛体（機構部品）のもつ運動の自由度は、並進運動が3、回転運動が3で、合計6つの自由度があるが、各機構部品間の結合は、2つの機構部品間の相対運動における自由度を拘束するから、上記したリンク機構では、機構部品10と11は軸14方向の並進運動のみ、機構部品11と12は軸15の回りの回転運動のみ、機構部品12と13は軸16の回りの回転運動のみ、機構部品13と10は軸17の回りの回転運動のみが許されており、その他の運動は拘束されていることになる。

【0020】上記の結合状態を数学的に記述すれば、以下の通りとなる。

【0021】まず、2部品間の相対的位置及び姿勢の変

(4)

特開平5-266000

5

6

化を表すために、基準座標系以外にそれぞれの部品上に局所座標系を設定する。それぞれの局所座標系は、それが設定された機構部品と共に移動（並進、回転）するものとする。

【0022】図2は機構部品18が軸19の回りに回転運動する例で、局所座標系00-X0, Y0, Z0も機構部品18と共に回転運動する。いま、機構部品18が軸00-Z0の回りに角度θだけ回転し、位置18aに移動したものとすると、この回転運動による位置及び姿勢の変化は、移動前の座標系00-X0, Y0, Z0と移動後の座標系01-X1, Y1, Z1との変化を表す*

X1	α_{11}	α_{12}	α_{13}	Xm	X0
Y1	α_{21}	α_{22}	α_{23}	Ym	Y0
Z1	α_{31}	α_{32}	α_{33}	Zm	Z0
1	0	0	0	1	1

上記4行4列の行列をここでは「A行列」と呼ぶ。この行列式の、 α_{11} 、 α_{12} 、 α_{13} 、 α_{21} 、 α_{22} 、 α_{23} 、 α_{31} 、 α_{32} 、 α_{33} 、及びXm, Ym, Zmを求ることにより、2部品間の相対的位置及び姿勢が求められる。

【0025】図2の場合は、軸00-Z0の回りに角度θだけ回転しているから、前記A行列は以下のように表される。

【0026】

【数2】

$\cos \theta$	$-\sin \theta$	0	0	30
$\sin \theta$	$\cos \theta$	0	0	
0	0	1	0	
0	0	0	1	

※

$$M1AA2(\theta 1)MA2 \cdot M2AA3(\theta 2)MA3 \cdot M3AA4(\theta 3)MA4 \cdot \\ M4AA1(\theta 4)MA1 = 1$$

但し、 M_{iA} ：結合の初期状態を局所座標系iで表したときの行列式

M_{Aj} ：結合の初期状態を局所座標系jで表したときの行列式

A_i ：結合の初期状態からの変換行列

θ_i ：回転量あるいは並進量

回転量あるいは並進量が θ_1 である場合、上記(1)式に θ_1 を代入し、例えばニュートン・ラフソン法により θ_2 、 θ_3 、 θ_4 を求める。L1を局所座標系を基準座標系で表したときの行列式とすると、各機構部品の位置の変換行列は、以下のように表される。

【0028】L1

L1 · M1AA2($\theta 1$)MA2L1 · M1AA2($\theta 1$)MA2 · M2AA3($\theta 2$)MA3

10 【0024】

【数1】

※このA行列を使って、図2の場合を説明する。機構部品10乃至と13に局所座標系を設定すると次の式が成立する。

【0027】

20

30

40

50

(1)

$$L1 \cdot M1AA2(\theta 1)MA2 \cdot M2AA3(\theta 2)MA3 \cdot M3AA4(\theta 3)MA4$$

以上は、機構部品相互の回転結合、並進結合のみで、機構部品相互の表面が接触連動結合していない場合について、駆動側の機構部品に所定量の変位を与えたときの被駆動側の機構部品の変位量の演算について説明したもので、これにより、各機構部品の位置及び姿勢を知ることができる。

【0029】機構部品相互の表面が接触連動結合している場合も、同様に上記したA行列を求ることで、各機構部品の位置及び姿勢を知ることができる。しかしながら、この場合は、機構部品相互の表面の形状が様々であるから、上記した場合のように一般式でA行列を記述できないので、後述するように、機構部品相互の表面の形

(5)

特開平5-266000

7

状を多面体で近似したデータにより、実際の変位量を包含するような変位量の存在範囲を求め、システムが備える干渉検査機能を用いてその範囲内で逐次収斂させて実際の変位量を得、それをA行列で記述するようすればよい。

【0030】図3は、この発明のシミュレーション装置の構成の概略を示すプロック図で、1は鍵盤、マウス等の入力装置、2はプロセッサ、3は磁気テープ、磁気ディスク等の外部記憶装置、4はCRT、プリンタ等の表示装置である。プロセッサ2内には、外部記憶装置3から読み込まれたプログラムにより、図形データ作成手段5、機構データ作成手段6、機構データ解析手段7、接触値検出手段8、表示制御手段9が構成される。

【0031】図形データ作成手段5は、入力装置1から入力された機構部品の図形の位置、姿勢などの情報を、

10 * 10

* 図形データとしてプロセッサ2内に保持せるものである。図形データは、ソリッド、サーフェイス、ワイヤフレームなどの図形要素形式、図形要素識別番号、及び図形形状データから構成される。

【0032】機構データ作成手段6は、プロセッサ2内に保持された図形データに対応する機構部品について、機構部品に関する情報、機構部品相互の結合に関する情報、機構部品のうち駆動側となるもの、等の情報を入力装置1から入力することにより、プロセッサ2内に機構解析のための機構部品情報、結合情報、駆動情報などの機構データを作成する。機構データは、図形データを機構部品に分けたときの各機構部品の位置及び姿勢を求める単位である。

【0033】(a) 機構部品情報はおよそ以下の種類の情報からなる。

機構部品数

機構部品情報—機構部品番号

—位置姿勢行列

—構成要素数

—構成要素情報—要素番号

—要素形式

【0034】(b) 結合データは、機構部品情報で表される各機構部品について、2つの機構部品間の相対運動における自由度の拘束情報等を表す。自由度の拘束情報 ※

結合数

結合情報—結合番号

—結合種類

—結合される機構部品番号(1)

—結合される機構部品番号(2)

—機構部品番号(1)の結合情報

—機構部品番号(2)の結合情報。

【0035】(c) 駆動データは、機構を駆動するときの情報を表す。駆動データは、およそ以下の種類の情報からなる

駆動数

駆動情報—駆動側の機構部品番号

—駆動方法

—変位数

—変位情報—時刻

—変位。

【0036】機構データ解析手段7は、機構データ作成手段6で作成された機構データを解析し、機構部品を駆動したときの、各機構部品の位置及び姿勢を算出する。

【0037】接触値検出手段8は、機構データに機構部品相互の接触を伴う結合、即ち接触運動結合がある場合に、機構部品の移動量を算出する。算出された移動量は、機構データ解析手段7により機構部品の位置及び姿勢に変換される。

【0038】表示制御手段9は、機構データ解析手段7、及び接触値検出手段8により求められた各機構部品

8

* のうち、代表的なものが結合として登録される。結合データは、およそ以下の種類の情報からなる。

の位置及び姿勢を、図形データ、及び表示パラメータに基づいて表示図形情報に変換し、表示装置4に表示する。

【0039】図4は、プロセッサ2で実行される処理プロセスを示すフローチャートである。電源が投入されると、まず、前処理として、初期設定がなされ、外部記憶3からプログラムが読み込まれ、プロセッサ2内に、図形データ作成手段5、機構データ作成手段6、機構データ解析手段7、接触値検出手段8、表示制御手段9が構成される(ステップP1)。

【0040】鍵盤、マウス等の入力装置1により所望の図形の作図操作を行う。作成された図形は図形データ作成手段5により処理され、図形データが作成される(ステップP2)。

【0041】機構データ作成手段6により、作成された図形データを機構部品に分け、各機構部品に関する機構データ、結合データ、駆動データが作成される(ステップP3、P4)。

【0042】図形データを機構部品に分ける処理は、入

(6)

特開平5-266000

9

力装置1により指定の機構部品に対する図形データを指定すると、機構部品の構成が解析され、上記したような機構データが形成される。

【004.3】結合データの処理は、入力装置1により結合される2つの機構部品を指定し、その2つの機構部品間に定義したい結合を選択する。このとき、結合の種類によりパラメータを入力する場合がある。入力情報は機構データ作成手段6により選択された結合が解析され、上記したような結合データが形成される。

【004.4】駆動データの処理は、入力装置1により駆動側の機構部品、駆動方法、駆動時刻、駆動量を入力する。入力情報は機構データ作成手段6により駆動状態が解析され、上記したような駆動データが形成される。

【004.5】機構部品データ及び結合データに基づいて、結合状態にある機構部品群の最初の部品と最後の部品が結合して閉ループを形成しているものと、このような閉ループを形成せず、開ループを形成しているものとに分ける(ステップP5)。

【004.6】定義された結合のうち、機構部品間の接触を伴う接触運動結合については、接触値を求めるために、機構部品の表面を3角形の集合による多面体で近似し、各3角形の頂点の座標を基準座標系で表す(ステップP6)。

【004.7】機構部品を時系列で定義されている複数の駆動データについて、全て演算処理が終了したか否かを判定し(ステップP7)、演算処理が終了していないときは、後述するステップP8～ステップP15の演算処理を繰り返し、演算処理が終了しているときは、ステップP16に移り、記憶装置に格納された位置及び姿勢データに基づいて、表示装置上に各機構部品の位置及び姿勢を表示する。

【004.8】以下は、ステップP8～ステップP15で実行される演算処理についての説明である。

【004.9】まず、機構部品に駆動データで指定された駆動情報を与える。もし、接触運動結合が関係しない場合は、先に説明した方法で解析することができるが、接触運動結合が関係する場合は、図形データの位置関係が問題となるので、機構部品の図形データを駆動情報に基づいて

*づいて移動させる。即ち、接触運動結合が関係する駆動側の機構部品に対して、この機構部品のA行列を図形データに作用させる。例えば、図形データがNURBS表現であらわされている場合、制御点にA行列を掛けて制御点を移動させる(ステップP8)。

【005.0】移動させた機構部品のうち、接触運動結合が定義されている2つの機構部品が接触したか否かを判定する(ステップP9)。これは、ステップP8で得られた移動後の図形データに、システムが備えている干渉判定機能を利用して、2つの機構部品が干渉しているか、離れているかを調べることにより実施される。

【005.1】ステップP9の判定で、2つの機構部品が接触運動結合していない場合は、まず、閉ループを形成しているか否かを調べ、閉ループを形成している場合は、先に説明したニュートン・ラフソン法により演算してA行列を求める。また、閉ループを形成していない場合は、機構部品を順次変位させ、その変位を計算してA行列を求める(ステップP14)。

【005.2】駆動情報に基づいて各機構部品の位置及び姿勢を演算して(ステップP15)、ステップP7に戻る。

【005.3】ステップP9の判定で、接触運動結合の2つの機構部品が干渉する場合は、2つの機構部品は運動すると考えられるので、接触値検出手段8により駆動側の(移動後の)図形データに接するような被駆動側の機構部品の変位量を計算する。即ち、多面体で近似した機構部品の表面データのうち、駆動側の機構部品を表す多面体データを駆動量分移動させて、被駆動側の機構部品を表す多面体データがこれに接するような変位量を求める(ステップP10)。

【005.4】駆動側の機構部品を表す多面体データを駆動量分移動させるには、駆動側の機構部品を表す多面体データの各3角形の頂点座標値に、駆動量を表す以下説明するA行列を掛ければよい。軸の端点座標を(x、y、z)、軸の正規化された方向ベクトルを(a、b、c)としたとき、A行列は以下の式で表される。

【005.5】

【数3】

$$A = \begin{vmatrix} a & b & c & -ax-by-cz \\ -ab/\sqrt{a^2+c^2} & \sqrt{a^2+c^2} & -bc/\sqrt{a^2+c^2} & abx/\sqrt{a^2+c^2} - y\sqrt{a^2+c^2} \\ -c/\sqrt{a^2+c^2} & 0 & a/\sqrt{a^2+c^2} & +bcz/\sqrt{a^2+c^2} \\ 0 & 0 & 0 & cx/\sqrt{a^2+c^2} - az/\sqrt{a^2+c^2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

11

多面体データ相互が接する場合とは、多面体を構成する3角形のうち、いずれかの3角形相互が接する場合で、以下の3つの場合がある。

- (1) 駆動側の多面体を構成する3角形領域内部に被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点が存在する場合
- (2) 被駆動側の多面体を構成する3角形領域内部に駆動側の多面体を構成する3角形の頂点が存在する場合
- (3) 駆動側の多面体を構成する3角形の稜線と被駆動側の多面体を構成する3角形の稜線が交差する場合。

【0056】以下、被駆動側の機構部品の運動が並進運動の場合について、上記(1)(2)(3)について変位量を計算する。

【0057】(1)の場合、駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の座標を(Xf1, Yf1, Zf1), (Xf2, Yf2, Zf2), (Xf3, Yf3, Zf3)とし、被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の頂点の座標を(Xm, Ym, Zm)とすると、変位量 Hは以下の連立方程式を解くことにより得られる。

$$\begin{aligned} \alpha * (Xf2 - Xf1) + \beta * (Xf3 - Xf1) + Xf1 &= Xm + H \\ \alpha * (Yf2 - Yf1) + \beta * (Yf3 - Yf1) + Yf1 &= Ym \\ \alpha * (Zf2 - Zf1) + \beta * (Zf3 - Zf1) + Zf1 &= Zm \\ 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1 \end{aligned}$$

(2)の場合、駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の座標を(Xf, Yf, Zf)とし、被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の頂点の座標を(Xm1, Ym1, Zm1), (Xm2, Ym2, Zm2), (Xm3, Ym3, Zm3)とすることにより、変位量 Hは(1)の場合と同様にして得られる。

【0059】(3)の場合、駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の座標を(xf1, yf1, zf1), (xf2, yf2, zf2)とし、被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の頂点の座標を(xm1, ym1, zm1), (xm2, ym2, zm2)とすると、変位量 Hは以下の連立方程式を解くことにより得られる。

$$\begin{aligned} \alpha * (Xf2 - Xf1) + Xf1 &= \beta * (Xm2 - Xm1) + Xm1 + H \\ \alpha * (Yf2 - Yf1) + Yf1 &= \beta * (Ym2 - Ym1) + Ym1 \\ \alpha * (Zf2 - Zf1) + Zf1 &= \beta * (Zm2 - Zm1) + Zm1 \\ 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1 \end{aligned}$$

次に、被駆動側の機構部品の運動が回転運動の場合について、上記(1)(2)(3)について変位量を計算する。

【0061】(1)の場合、駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の座標を(Xf1, Yf1, Zf1), (Xf2, Yf2, Zf2), (Xf3, Yf3, Zf3)とし、被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の頂点の座標を(Xm, Ym, Zm)とすると、変位量 Hは以下の方程式を解くことにより得られる。

$$\begin{aligned} \alpha * (Xf2 - Xf1) + \beta * (Xf3 - Xf1) + Xf1 &= \\ Xm \{ \alpha * (Yf2 - Yf1) + \beta * (Yf3 - Yf1) + Yf1 \}^2 & \\ + \{ \alpha * (Zf2 - Zf1) + \beta * (Zf3 - Zf1) + Zf1 \}^2 &= Ym^2 + Zm^2 \\ \text{これらを解いて得られた } \alpha, \beta \text{ のうち,} \\ 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \alpha + \beta \leq 1 \text{ を満たすものについて,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Yf1 &= \alpha * (Yf2 - Yf1) + \beta * (Yf3 - Yf1) + Yf1 \\ Zf1 &= \alpha * (Zf2 - Zf1) + \beta * (Zf3 - Zf1) + Zf1 \end{aligned}$$

(7)

特開平5-266000

12

角θは、以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{【0063】} (Zm/Ym) < (Zi/Yi) \text{ のとき,} \\ \theta = \cos^{-1} \{ (Yi*Ym + Zi*Zm) / (Ym^2 + Zm^2) \} \end{aligned}$$

上記以外のとき、

$$\theta = 2\pi - \cos^{-1} \{ (Yi*Ym + Zi*Zm) / (Ym^2 + Zm^2) \}$$

(2)の場合、駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の座標を(Xf1, Yf1, Zf1)とし、被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の頂点の座標を(Xm1, Ym1, Zm1), (Xm2, Ym2, Zm2), (Xm3, Ym3, Zm3)とすることで、変位量 Hは(1)

10 の場合と同様にして得られる。

【0064】(3)の場合、駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の座標を(xf1, yf1, zf1), (xf2, yf2, zf2)とし、被駆動側の多面体を構成する3角形の頂点の頂点の座標を(xm1, ym1, zm1), (xm2, ym2, zm2)とすると、変位量 Hは以下の連立方程式を解くことにより得られる。

$$\begin{aligned} \text{【0065】} \alpha * (Xf2 - Xf1) + Xf1 &= \beta * (Xm2 - Xm1) + Xm1 \\ \{ \alpha * (Yf2 - Yf1) + Yf1 \}^2 + \{ \alpha * (Zf2 - Zf1) + Zf1 \}^2 &= \\ = \{ \beta * (Ym2 - Ym1) + Ym1 \}^2 + \{ \beta * (Zm2 - Zm1) + Zm1 \}^2 \end{aligned}$$

これを解いて得られた α, β のうち、

20 $0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$ を満たすものについて、

$$Yf1 = \alpha * (Yf2 - Yf1) + Yf1$$

$$Zf1 = \alpha * (Zf2 - Zf1) + Zf1$$

$$Ym1 = \beta * (Ym2 - Ym1) + Ym1$$

$$Zm1 = \beta * (Zm2 - Zm1) + Zm1$$

とすると、回転角θは、以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{【0066】} (Zm/Ym) < (Zi/Yi) \text{ のとき,} \\ \theta = \cos^{-1} \{ (Yi*Ym + Zi*Zm) / (Ym^2 + Zm^2) \} \end{aligned}$$

上記以外のとき、

$$\theta = 2\pi - \cos^{-1} \{ (Yi*Ym + Zi*Zm) / (Ym^2 + Zm^2) \}$$

30 算出された変位量は、一般に複数個あり、且つ、実際の変位量とは異なる場合がある。これは、算出時に用いた3角形以外のところで干渉したり、多面体で近似することによる誤差による。逆に、実際の変位量は算出された変位量のいずれかの近傍に存在する。そこで、被駆動側の機構部品を算出された変位量だけ移動させ、干渉検査機能を用いて駆動側の機構部品と干渉しているか否かを調べる。さらに、算出された変位量を微小量増減させて駆動側の機構部品と干渉しているか否か干渉検査を行う。これを算出した変位量の小さい値から順次行い、干

40 渉している状態から非干渉の状態(離れた状態)に変化するときの、それぞれの変位量 H_{low} 、 H_{high} を見付け出す(ステップP11)。

【0067】実際の変位量は、近似計算で得られた上記 H_{low} と H_{high} との間に存在するから、この区間内で干渉検査の機能を用いた逐次近似計算を行う。許容誤差 ϵ に対して、第1次近似の変位量

$$H1 = (H_{low} + H_{high}) / 2$$

だけ被駆動側機構部品を移動させたとき、干渉するか否かを調べる。

【0068】干渉している場合は、第2次近似の変位量

(8)

特開平5-266000

13

$$H_2 = (H_1 + H_{high}) / 2$$

だけ被駆動側機構部品を移動させたとき、干渉するか否かを調べる。

【0069】以下、干渉が生じるまで、逐次近似計算を行い、前回の計算で得た近似値と今回の近似値との差が ϵ 以下になつた場合は、今回の近似値を実際の値とみなし、計算を終了する（ステップP12）。

【0070】以上の近似計算で得られた変位量を、接触連動結合の場合の被駆動側機構部品の変位量としてA行列で表現し、機構データ解析手段7において各機構部品の位置及び姿勢を算出し、位置及び姿勢データとして記憶装置に格納する（ステップP13）。記憶装置に格納される各機構部品の位置及び姿勢データは、基準時刻からの経過時間と、その時点における各機構部品の位置及び姿勢データから構成される。

【0071】次に、上記したシミュレーションシステムで解析した、接触連動結合する機構部品の解析例を説明する。図5は接触連動結合するカム機構を示すもので、機構部品B1とB2は、それぞれ軸a1及びa2の回りに回転するよう構成されている。いま、機構部品B1を軸a1の回りに10度づつ2回、回転駆動を与えるものとする。

【0072】図6は、先に説明した図4のフローチャートのステップP6における処理により、前記カム機構のカム表面（曲面）を3角形の多面体で近似した状態を示し、図7は機構部品B1の多面体を構成する3角形の頂点座標値の一例、図8は機構部品B2の多面体を構成する3角形の頂点座標値の一例を示すものである。

【0073】図9は、機構部品B2を駆動側、機構部品B1を被駆動側とした場合の、前記フローチャートのステップP10乃至P13による解析結果の一例を示ものである。即ち、多面体で近似した機構部品について変位量（回転角ラジアン）を算出し、干渉検査の結果、変位量0.068737では干渉しておらず、変位量0.108737では干渉していることが判明したので、解が存在する範囲はこの範囲にあると判断する。そこで、逐次近似計算して、干渉しない最大値と干渉する最小値との差 ϵ が0.001以下となつたとき計算を打ち切り、干渉しない最大値0.107487と干渉する最小値0.108737の中間値である値0.108112（回転角ラジアン）を機構部品B1とB2が接触する変位量として決定する。即ち、機構部品B1を0.108112ラジアン回転させたとき、機構部品B2に接触するすることができる。

【0074】次に、表示装置における表示の態様について説明する。時間と共に変位する機構の表示態様としては、例えば、駆動情報に基づいて各機構部品の位置及び姿勢を時系列で順次表示する方法、指定時刻における各機構部品の位置及び姿勢を表示する方法、各機構部品の移動軌跡を表示する方法、あるいは、機構部品の移動開始から移動終了までの部品間の距離や干渉曲線を表示す

14

る方法などがある。接触連動結合の場合は、離れている状態から接触する状態までの各機構部品の位置及び姿勢を表示することもできる。

【0075】図10は図1に示すリンク機構の位置及び姿勢を時系列で順次表示した例で、時間の経過につれて変位する機構部品の位置及び姿勢を立体的に表示することができる。図11は機構部品の初期位置の形と、移動軌跡だけを表示した例、図12は機構部品の移動中の干渉状態を示す干渉曲線を表示した例である。図13乃至図15は接触連動結合するカメラのAFカプラー機構の位置及び姿勢を立体的に表示した例である。また、図16は接触連動結合しているカムで、図17乃至図21は図16のカムにおいて、回転角の変化に応じてレバーが変位する様子を表示した例である。

【0076】

【発明の効果】以上説明した通り、この発明は機構部品相互の接触状態を部品結合の1種とみてこれを接触連動結合と定義し、機構部品の3次元の自由曲面を多面体で近似した機構部品について演算して得た位置、姿勢から、実際の機構部品が接触連動結合するときの位置、姿勢を求めるようにし、機構部品に変位を与えるながら接触連動結合するとき、及び接触連動結合しないときの機構部品の位置、姿勢を順次演算し、機構部品表面の接触による機構の動きを含めて、機構の動作を解析するものであるから、従来のシミュレーションシステムでは実施できなかつた、3次元の自由曲面をもつ機構部品相互の接触状態を考慮した機構の動作をシミュレーションすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】機構部品相互の回転結合、並進結合を説明するリンク機構の斜視図。

【図2】回転結合した2つの機構部品の解析説明図。

【図3】この発明のシミュレーション装置の構成の概略を示すプロツク図。

【図4】プロセッサで実行される処理プロセスの概略を示すフローチャート。

【図5】接触連動結合するカム機構の斜視図。

【図6】図5に示すカム機構のカム表面（曲面）を3角形の多面体で近似した状態を示す斜視図。

【図7】図6に示す多面体で近似したカム機構のうち、機構部品B1表面の3角形の頂点座標値の一例。

【図8】図6に示す多面体で近似したカム機構のうち、機構部品B2表面の3角形の頂点座標値の一例。

【図9】図6に示す多面体で近似したカム機構の解析例。

【図10】機構部品の位置及び姿勢を時系列で順次表示した表示例。

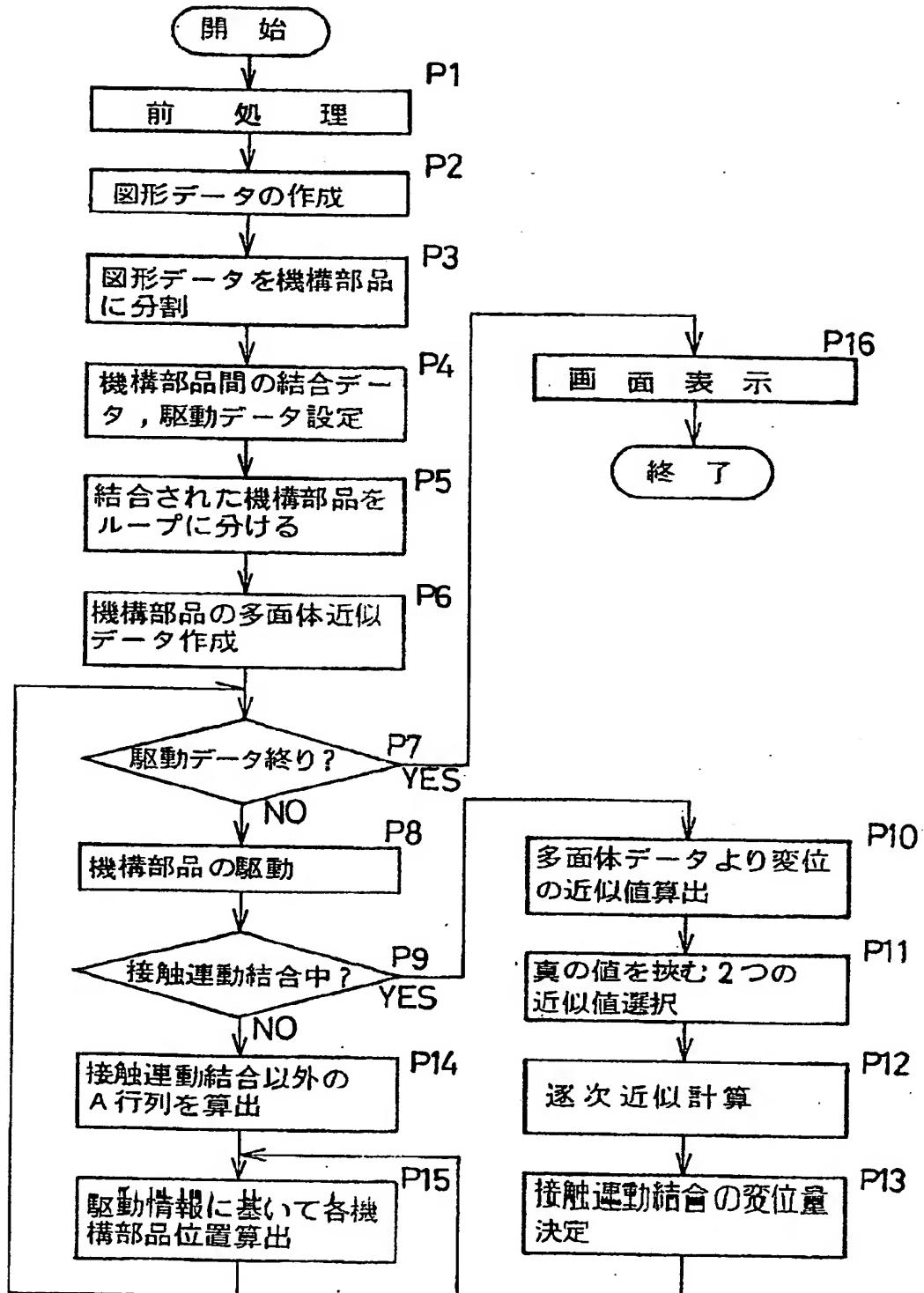
【図11】機構部品の初期位置の形と、移動軌跡だけを表示した表示例。

【図12】機構部品の移動中の干渉状態を示す干渉曲

(10)

特開平5-266000

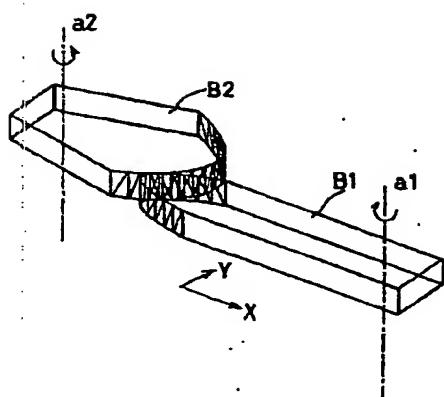
【図4】



(11)

特開平5-266000

【図6】



【図7】

機構部品B1の多面体を構成する3角形の頂点の座標値

```

No. 1 :: facet_No 30
FACETS DATA
0: (-7.3,1.5,5.0); (-7.3,1.5,0.0); (-9.3,1.4,0.0)
1: (-7.3,1.5,5.0); (-9.3,1.4,0.0); (-9.3,1.4,5.0)
2: (-9.3,1.4,5.0); (-9.3,1.4,0.0); (-11.3,1.3,0.0)
3: (-9.3,1.4,5.0); (-11.3,1.3,0.0); (-11.3,1.3,5.0)
4: (-11.3,1.3,5.0); (-11.3,1.3,0.0); (-13.1,1.3,0.0)
5: (-11.3,1.3,5.0); (-13.1,1.3,0.0); (-13.1,1.3,5.0)
6: (-13.1,1.3,5.0); (-13.1,1.3,0.0); (-15.0,1.4,0.0)
7: (-13.1,1.3,5.0); (-15.0,1.4,0.0); (-15.0,1.4,5.0)
8: (-15.0,1.4,5.0); (-15.0,1.4,0.0); (-16.8,1.6,0.0)
9: (-15.0,1.4,5.0); (-16.5,1.6,0.0); (-16.5,1.6,5.0)
10: (-16.5,1.6,5.0); (-16.5,1.6,0.0); (-17.5,2.0,0.0)
11: (-16.5,1.6,5.0); (-17.5,2.0,0.0); (-17.5,2.0,5.0)
12: (-17.5,2.0,5.0); (-17.5,2.0,0.0); (-18.2,2.2,5.0)
13: (-17.5,2.0,5.0); (-18.2,2.2,5.0); (-18.2,2.2,5.0)
14: (-18.2,2.2,5.0); (-18.2,2.2,5.0); (-18.5,3.2,0.0)
15: (-18.2,2.2,5.0); (-19.5,3.2,0.0); (-18.5,3.2,5.0)
16: (-18.5,3.2,5.0); (-18.5,3.2,0.0); (-18.5,4.1,0.0)
17: (-18.5,3.2,5.0); (-18.5,4.1,0.0); (-18.5,4.1,5.0)
18: (-18.5,4.1,5.0); (-18.5,4.1,0.0); (-17.7,5.0,0.0)
19: (-18.5,4.1,5.0); (-17.7,5.0,0.0); (-17.7,5.0,5.0)
20: (-17.7,5.0,5.0); (-17.7,5.0,0.0); (-16.7,6.2,0.0)
21: (-17.7,5.0,5.0); (-16.7,6.2,0.0); (-16.7,6.2,5.0)
22: (-16.7,6.2,5.0); (-16.7,6.2,0.0); (-15.4,7.4,0.0)
23: (-16.7,6.2,5.0); (-15.4,7.4,0.0); (-15.4,7.4,5.0)
24: (-15.4,7.4,5.0); (-15.4,7.4,0.0); (-13.9,8.6,0.0)
25: (-15.4,7.4,5.0); (-13.9,8.6,0.0); (-13.9,8.6,5.0)
26: (-13.9,8.6,5.0); (-13.9,8.6,0.0); (-12.4,9.8,0.0)
27: (-13.9,8.6,5.0); (-12.4,9.8,0.0); (-12.4,9.8,8.0)
28: (-12.4,9.8,5.0); (-12.4,9.8,0.0); (-10.7,11.0,0.0)
29: (-12.4,9.8,5.0); (-10.7,11.0,0.0); (-10.7,11.0,5.0)

```

【図8】

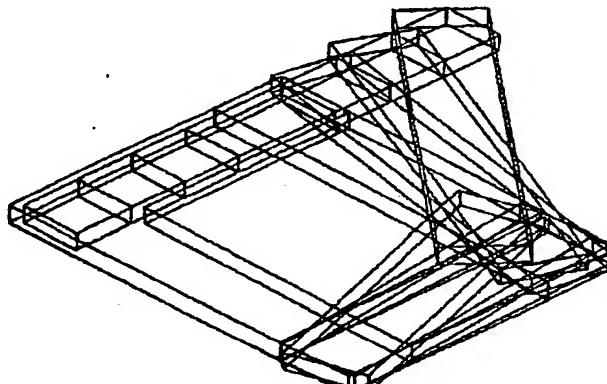
【図10】

機構部品B2の多面体を構成する3角形の頂点の座標値

```

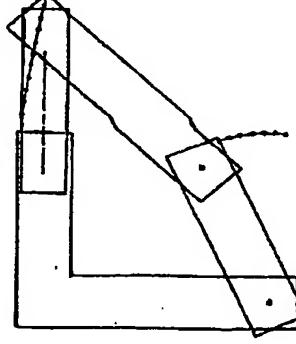
No. 0 :: facet_No 30
FACETS DATA
0: (-25.0,25.0,5.0); (-25.0,25.0,0.0); (-23.0,23.9,0.0)
1: (-25.0,25.0,5.0); (-23.0,23.9,0.0); (-23.0,23.9,5.0)
2: (-23.0,23.9,5.0); (-23.0,23.9,0.0); (-21.8,22.8,0.0)
3: (-23.0,23.9,5.0); (-21.8,22.8,0.0); (-21.8,22.8,5.0)
4: (-21.8,22.8,5.0); (-21.8,22.8,0.0); (-21.8,22.8,5.0)
5: (-21.2,22.8,5.0); (-21.2,22.8,0.0); (-19.4,21.5,0.0)
6: (-19.4,21.5,5.0); (-19.4,21.5,0.0); (-19.4,21.5,5.0)
7: (-19.4,21.5,5.0); (-17.7,20.1,0.0); (-17.7,20.1,5.0)
8: (-17.7,20.1,5.0); (-17.7,20.1,0.0); (-16.4,18.6,0.0)
9: (-17.7,20.1,5.0); (-16.4,18.6,0.0); (-16.4,18.6,5.0)
10: (-16.4,18.6,5.0); (-16.4,18.6,0.0); (-15.5,17.2,0.0)
11: (-16.4,18.6,5.0); (-15.5,17.2,0.0); (-15.5,17.2,5.0)
12: (-15.5,17.2,5.0); (-15.5,17.2,0.0); (-15.1,15.7,0.0)
13: (-15.5,17.2,5.0); (-15.1,15.7,0.0); (-15.1,15.7,5.0)
14: (-15.1,15.7,5.0); (-15.1,15.7,0.0); (-15.1,14.3,0.0)
15: (-15.1,15.7,5.0); (-15.1,14.3,0.0); (-15.1,14.3,5.0)
16: (-15.1,14.3,5.0); (-15.1,14.3,0.0); (-15.5,12.8,0.0)
17: (-15.1,14.3,5.0); (-15.5,12.8,0.0); (-15.5,12.8,5.0)
18: (-15.5,12.8,5.0); (-15.5,12.8,0.0); (-16.4,11.4,0.0)
19: (-15.5,12.8,5.0); (-16.4,11.4,0.0); (-16.4,11.4,5.0)
20: (-16.4,11.4,5.0); (-16.4,11.4,0.0); (-17.7,9.9,0.0)
21: (-16.4,11.4,5.0); (-17.7,9.9,0.0); (-17.7,9.9,5.0)
22: (-17.7,9.9,5.0); (-17.7,9.9,0.0); (-19.4,8.5,0.0)
23: (-17.7,9.9,5.0); (-19.4,8.5,0.0); (-19.4,8.5,5.0)
24: (-19.4,8.5,5.0); (-19.4,8.5,0.0); (-21.2,7.2,0.0)
25: (-19.4,8.5,5.0); (-21.2,7.2,0.0); (-21.2,7.2,5.0)
26: (-21.2,7.2,5.0); (-21.2,7.2,0.0); (-23.0,6.1,0.0)
27: (-21.2,7.2,5.0); (-23.0,6.1,0.0); (-23.0,6.1,5.0)
28: (-23.0,6.1,5.0); (-23.0,6.1,0.0); (-25.0,5.0,0.0)
29: (-23.0,6.1,5.0); (-25.0,5.0,0.0); (-25.0,5.0,5.0)

```



【図11】

【図12】



(12)

特開平5-266000

【図9】

多面体による接触解

(1) 0. 108737	(41) 0. 370882
(2) 0. 109384	(42) 0. 308828
(3) 0. 100507	(43) 0. 406778
(4) 0. 100024	(44) 0. 421081
(5) 0. 110010	(45) 0. 433465
(6) 0. 112604	(46) 0. 436348
(7) 0. 114560	(47) 0. 438226
(8) 0. 117133	(48) 0. 430585
(9) 0. 117372	(49) 0. 430024
(10) 0. 117071	(50) 0. 446178
(11) 0. 118129	(51) 0. 455440
(12) 0. 120821	(52) 0. 458350
(13) 0. 122340	(53) 0. 463454
(14) 0. 127401	(54) 0. 463537
(15) 0. 120130	(55) 0. 466106
(16) 0. 130803	(56) 0. 474411
(17) 0. 136224	(57) 0. 480888
(18) 0. 141629	(58) 0. 481008
(19) 0. 146656	(59) 0. 482372
(20) 0. 149136	(60) 0. 485070
(21) 0. 157337	(61) 0. 487814
(22) 0. 162458	(62) 0. 491466
(23) 0. 173213	(63) 0. 491666
(24) 0. 174206	(64) 0. 492601
(25) 0. 178607	(65) 0. 493350
(26) 0. 187877	(66) 0. 495218
(27) 0. 205283	(67) 0. 495472
(28) 0. 215404	(68) 0. 496363
(29) 0. 229018	(69) 0. 496883
(30) 0. 230550	
(31) 0. 240458	
(32) 0. 263544	
(33) 0. 283062	
(34) 0. 205630	
(35) 0. 316064	
(36) 0. 318824	
(37) 0. 332534	
(38) 0. 344415	
(39) 0. 362347	
(40) 0. 375101	

各解に対する干渉検査
 0.068737 : NOT INTERSECT
 0.108737 : INTERSECT

解が存在する範囲
 DOWN 0.068737 : NOT INTERSECT
 UP 0.108737 : INTERSECT

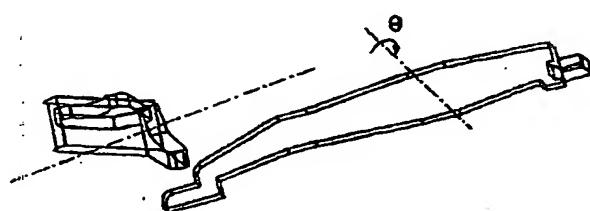
逐次近似
 0.088737 : NOT INTERSECT
 0.098737 : NOT INTERSECT
 0.103737 : NOT INTERSECT
 0.106237 : NOT INTERSECT
 0.107487 : NOT INTERSECT

結果
 answer = 0.108112

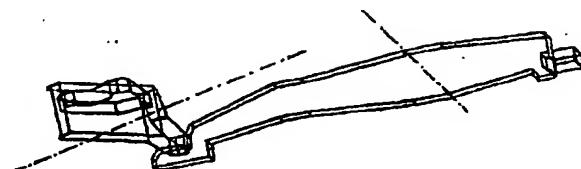
(13)

特開平5-266000

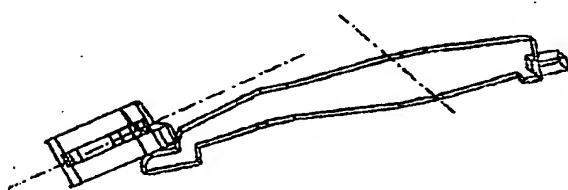
【図13】



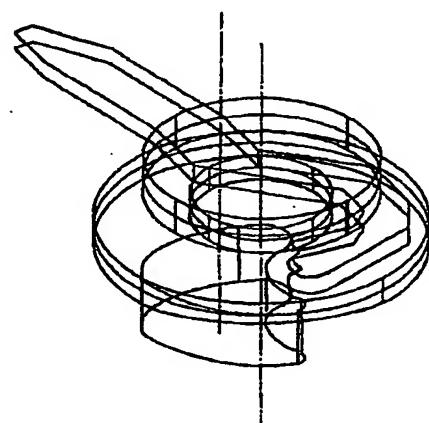
【図14】



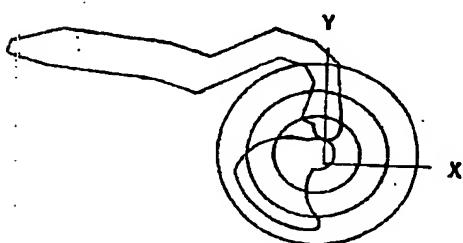
【図15】



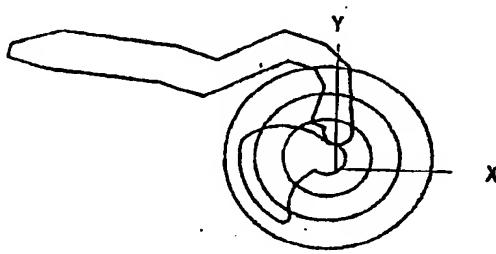
【図16】



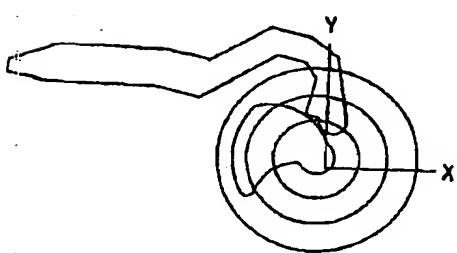
【図17】



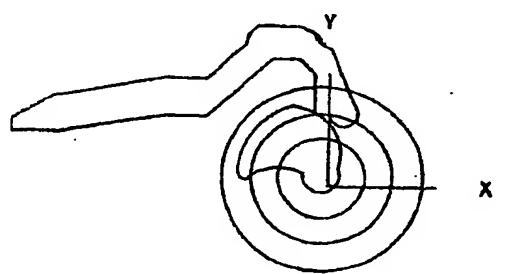
【図18】



【図19】



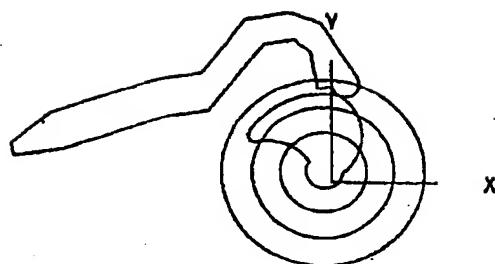
【図20】



(14)

特開平5-266000

【図21】



フロントページの続き

(72)発明者 伴 慎一

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
国際ビルミノルタカメラ株式会社内

(72)発明者 梶本 靖美

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪
国際ビルミノルタカメラ株式会社内